

0718833-1

На правах рукописи

ШИГАПОВ ИЛЬЯС МАСГУТОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСАДОЧНЫХ КОЛОНН
ЩЕЛОЧНОЙ ОЧИСТКИ ПИРОГАЗА В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭТИЛЕНА**

05.17.08 — Процессы и аппараты химической технологии

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

КАЗАНЬ 2000

Работа выполнена в Казанском государственном технологическом университете.

Научные руководители:

доктор технических наук,
профессор Лаптев А.Г.
кандидат технических наук,
докторант Данилов В.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Емельянов В.М.
кандидат технических наук,
Павлов Ю.Л.

Ведущая организация

ВНИИУС (г.Казань)

Защита состоится 29 декабря 2000 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 063.37.02 при Казанском государственном технологическом университете по адресу: 420015, г. Казань, ул. К.Маркса, 68, А—330 (зал заседаний ученого совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Казанского государственного технологического университета.

Автореферат разослан 28 ноября 2000 г.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947710

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор

Лаптев А.Г.

Актуальность работы

Многие технологические установки разделения и очистки веществ проектировались и вводились в эксплуатацию 30 — 40 лет назад. За это время изменились экономические отношения в стране, сырьевая база, возросли требования к качеству производимой продукции и экологической безопасности производств. В последние годы в практике отечественных и зарубежных предприятий сложилась устойчивая тенденция к замене устаревших контактных элементов на модернизированные или вновь разработанные виды насадок, обладающих более широким интервалом устойчивой работы и большей эффективностью. На ОАО "Казаньоргсинтез" в производстве Этилен—100 поставлена задача проведения реконструкции технологической схемы газоразделения и увеличения выпуска этилена. Это вызвано как возросшим спросом на полиэтилен, так и необходимостью снижения энергозатрат на единицу продукции. Опыт промышленной эксплуатации на Э—100 показывает, что качество полиэтилена во многом определяется узлом щелочной очистки пирогаза. Содержание углекислого газа в товарном этилене высокого качества должно быть менее 10 ppm об., а действующая установка обеспечивает до 20 ppm об. Поэтому задача реконструкция узла щелочной очистки пирогаза с использованием новых контактных устройств является актуальной.

Работа выполнена в рамках государственного заказа правительства РТ "Химия и нефтехимия"

Целью данной работы является:

Разработка новой высокоэффективной насадки для реконструкции колонн узла щелочной очистки пирогаза в производстве этилена. Экспериментальное исследование гидродинамических и массообменных характеристик новой насадки на лабораторном стенде. Математическое описание и расчет процесса хемосорбции в промышленных насадочных колоннах. Разработка технических решений по реконструкции узла щелочной очистки. Тиражирование полученных результатов.

Научная новизна:

Для реконструкции массообменных колонн разработана неупорядоченная насадка, обладающая высокой эффективностью, низким гидравлическим сопротивлением и стойкостью к отложениям механических загрязнений. Насадка обеспечивает устойчивую работу колонн в пленочном режиме в широком интервале нагрузок по газу и жидкости.

На основе результатов исследований новой насадки на экспериментальном стенде получены обобщающие уравнения для определения гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки, коэффициента продольного перемешивания.

С использованием диффузионной модели процесса щелочной очистки пирогаза и данных гидравлических испытаний получены обобщающие

выражения для высоты, эквивалентной теоретической ступени, (ВЭТС) новой насадки.

Практическая значимость:

Выполнены расчеты узла щелочной очистки пирогаза с учетом рецикла раствора щелочи для промышленных колонн с кольцами Рашига и новой насадкой.

Предложены технические решения по реконструкции насадочных колонн узла щелочной очистки пирогаза.

В мае 2000 г в колонне К—7 щелочной очистки пирогаза выполнена замена колец Рашига на разработанную насадку. Проведен анализ работы колонн после реконструкции. Экономический эффект за счет уменьшения расхода щелочи и снижения потерь этилена за 6 месяцев промышленной эксплуатации составляет более 500 тыс. руб.

Апробация работы и научные публикации:

По теме диссертации опубликовано 11 работ.

Основные результаты докладывались и обсуждались на XII Международной конференции “Математические методы в технике и технологиях, ММТТ—12”, г. В. Новгород, 1999 г.; на V Международной конференции по интенсификации нефтехимических процессов “Нефтехимия—99”, г. Нижнекамск, 1999 г.; на научных сессиях КГТУ в 1998 - 2000 г.г.; на XIII Международной конференции “Математические методы в технике и технологиях, ММТТ—2000”, г. Санкт — Петербург, 2000 г.

Объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы, приложений и акта, подтверждающего практическое применение результатов исследований.

Диссертация содержит 120 страниц машинописного текста, 5 таблиц, 18 рисунков по тексту, список литературы из 169 источников отечественных и зарубежных авторов.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы и формулируется цель работы.

В первой главе представлен обзор работ по изучению гидравлических и массообменных характеристик насадочных элементов различных конструкций, а также исследованию процессов абсорбции и хемосорбции. Показана актуальность разработки новых контактных элементов для повышения эффективности и производительности промышленных аппаратов.

Во второй главе составлена математическая модель и разработан алгоритм расчета процесса хемосорбции в насадочных колоннах К-7 и К-8 установки Э-100 с учетом рецикла раствора щелочи.

Колонны К—7 и К—8 диаметром 1400 мм предназначены для щелочной очистки пирогаза от углекислого газа, сероорганических соединений и сероводорода при помощи 10% раствора щелочи (NaOH). До

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
им. Н. И. Лобачевского
Казанского гос. университета

реконструкции в колоннах использовалась насадка из металлических колец Рашига 25x25 мм.

Пирогаз, содержащий до 1400 ппм объемных CO_2 , от компрессора с расходом 18 — 32 т/ч под давлением 39 кгс/см² поступает в нижнюю часть колонны К—7, в которой организовано две секции щелочной очистки. Каждая секция содержит два слоя неупорядоченной насадки высотой по 3.5 м. Секции отделены друг от друга глухой тарелкой. С верха колонны К—7 пирогаз подается в низ колонны К—8, которая также поделена глухой тарелкой на две секции. Нижняя секция К—8 общей высотой 7 метров предназначена для щелочной очистки, а верхняя секция, содержащая слой насадки высотой 3.5 метра и три колпачковые тарелки, — для водной отмывки пирогаза. Пирогаз, очищенный от CO_2 , отбирается с верха колонны К—8 и далее поступает в узел осушки. В процессе работы в слое насадки происходит накопление термополимера, что приводит к увеличению гидравлического сопротивления колонн К—7 и К—8.

В настоящее время нагрузка установки “Этилен — 100” по пирогазу составляет 29 — 31 т/час. На входе в К-7 концентрация CO_2 в потоке пирогаза изменяется в пределах от 100 до 1400 ппм об. Нестабильность содержания углекислого газа объясняется изменением состава исходной углеводородной смеси, поступающей на пиролиз. В периоды повышенной концентрации CO_2 колонны К—7 и К—8 обеспечивают очистку от углекислого газа до 18 — 19 ппм об., что соответствует предельно допустимым значениям. В дальнейшем на ОАО “Казаньоргсинтез” предполагаются мероприятия по реконструкции компрессорного оборудования. В этом случае нагрузка по пирогазу в колоннах К—7 и К—8 увеличится до 36 т/час.

В связи с этим ставится задача повышения эффективности разделения в колоннах К—7 и К—8 с одновременным снижением энергетических затрат и расхода вспомогательных материалов. Для решения поставленной задачи на основе составленной математической модели выполнены расчеты и рассмотрена работа узла щелочной очистки при существующих повышенных нагрузках. Проведено моделирование разделительной способности колонн К—7 и К—8 при повышении производительности установки Э—100.

При хемосорбции в противоточной насадочной колонне система уравнений диффузионной модели записывается в известном виде

$$D_{\text{пж}} \varepsilon_{\text{ж}} S_k \frac{d^2 x_A}{dz^2} - \frac{L}{\rho_{\text{ж}}} \frac{dx_A}{dz} = \phi \beta_{\text{жв}} S_k (x_{\text{Агр}} - x_A), \quad (1)$$

$$D_{\text{ир}} (\varepsilon_{\text{св}} - \varepsilon_{\text{ж}}) S_k \frac{d^2 y_A}{dz^2} - \frac{G}{\rho_{\text{г}}} \frac{dy_A}{dz} = \beta_{\text{гв}} S_k (y_A - y_{\text{Агр}}), \quad (2)$$

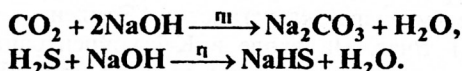
где $D_{\text{пж}}$, $D_{\text{ир}}$ — коэффициенты продольного перемешивания, м²/с; $\varepsilon_{\text{ж}}$ — удерживающая способность насадки по жидкой фазе; $\varepsilon_{\text{св}}$ — удельный

свободный объем насадки; S_k - площадь поперечного сечения колонны, m^2 ; L и G - массовые расходы жидкости и газа, kg/s ; $\rho_{ж}$ и $\rho_{г}$ — плотности жидкости и газа, kg/m^3 ; ϕ - коэффициент ускорения массоотдачи химической реакцией; $\beta_{тв}$ и $\beta_{жв}$ - объемные коэффициенты массоотдачи, $1/s$; x_A и y_A - концентрация компонента А в жидкой и газовой фазах, соответственно, масс.д.; $x_{Aгр}$ и $y_{Aгр}$ - концентрация компонента А на границе раздела фаз, масс.д., $y_{Aгр} = m \cdot x_{Aгр}$; $m = E/P$; E - константа Генри; P - давление в системе; z — вертикальная координата. Для системы уравнений (1) и (2) на входе потока в слой насадки задаются граничные условия по Данквертсу, а на выходе из слоя - граничные условия второго рода.

Система уравнений (1), (2) дополняется потоковым соотношением

$$\phi \beta_{жв} \rho_{ж} (x_{Aгр} - x_A) = \beta_{гв} \rho_{г} (y_A - y_{Aгр}) \quad (3)$$

В колоннах К—7 и К—8 химические реакции в жидкой фазе протекают согласно схемам



Константа Генри для системы “ CO_2 - раствор щелочи и продуктов реакции” находится по известной методике с учетом ионной силы раствора. При известных значениях $\epsilon_{ж}$, $\beta_{жв}$ и $\beta_{тв}$, $D_{пж}$ и $D_{пг}$ решение дифференциальных уравнений (1), (2) позволяет определить профили концентраций компонента в фазах по высоте колонны и степень извлечения.

Для известных типов насадок в литературе приводятся эмпирические уравнения для расчета коэффициентов продольного перемешивания. Для новой насадки $D_{пж}$ находится экспериментально.

Для определения коэффициентов массоотдачи используется модель Дьяконова С. Г., Елизарова В. И., Лаптева А. Г., которая позволяет рассчитать данные коэффициенты, основываясь на результатах гидравлического исследования контактных устройств.

На рис.1 приводится сравнение результатов расчета процесса хемосорбции в колоннах К—7 и К—8 по предложенной модели с данными промышленной эксплуатации узла щелочной очистки пирогаза. Значения концентрации CO_2 на выходе из узла щелочной очистки, рассчитанные по модели, удовлетворительно согласуются с промышленными данными.

Выполнены расчеты действующих колонн К-7, К-8 до реконструкции (с кольцами Рашига) с целью установления влияния расходов жидкости и газа, начального содержания углекислого газа в пирогазе и концентрации щелочи на концентрацию CO_2 на выходе из установки. Результаты расчетов для колонн с кольцами Рашига 25 x25 мм представлены на рис.2 — рис.5.

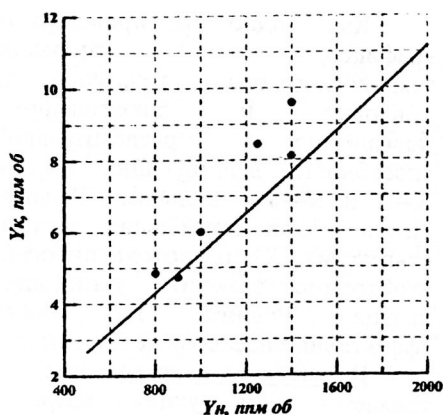


Рис. 1 Зависимость концентрации CO_2 в пирогазе на выходе из узла щелочной очистки от концентрации CO_2 на входе. Расход пирогаза 29 т/ч. Колонны с металлическими кольцами Рашига 25 x 25 мм — результаты расчета ♦ — промышленные данные

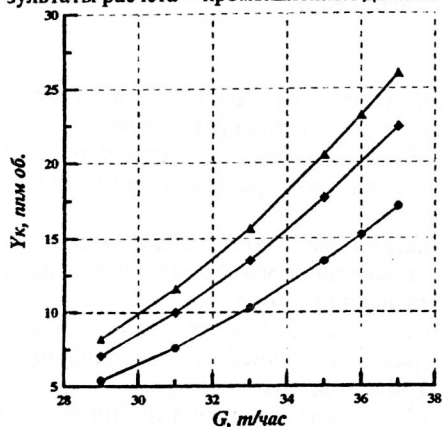


Рис. 2 Влияние расхода пирогаза на концентрацию CO_2 в пирогазе на выходе из установки
 \blacktriangle - $y_n = 1500$ ppm об. \blacklozenge - $y_n = 1300$ ppm об. \bullet - $y_n = 1000$ ppm об.

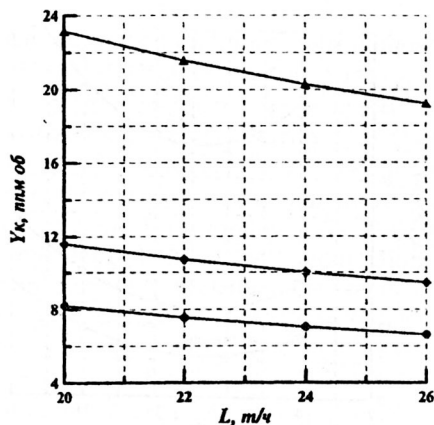


Рис. 3 Влияние расхода орошения на концентрацию CO_2 на выходе при различных расходах пирогаза. \blacktriangle - $G = 36$ т/ч; \blacklozenge - $G = 31$ т/ч; \bullet - $G = 31$ т/ч

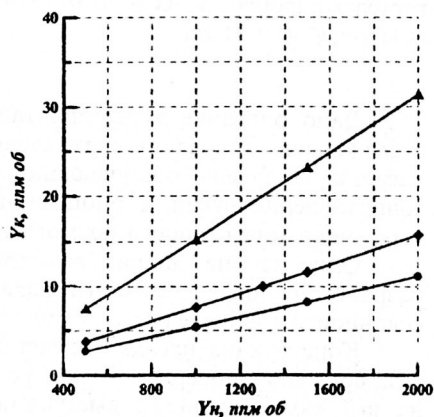


Рис. 4 Влияние начальной концентрации CO_2 на концентрацию CO_2 на выходе из установки при различных расходах пирогаза.
 \blacktriangle - $G = 36$ т/ч; \blacklozenge - $G = 31$ т/ч; \bullet - $G = 31$ т/ч

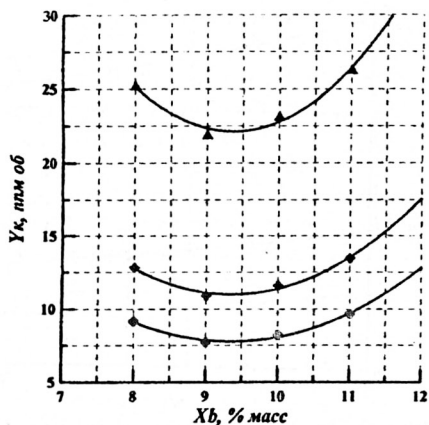


Рис. 5 Влияние концентрации щелочи в свежем растворе на концентрацию CO_2 на выходе из установки при различных расходах пирогаза. ▲ - $G = 36 \text{ т/ч}$; ◆ - $G = 31 \text{ т/ч}$; ● - $G = 31 \text{ т/ч}$

Как видно из приведенных графиков, изменение технологического режима не приводит к значительному повышению разделительной способности действующих колонн К—7 и К—8 с кольцами Рашига. Поэтому для повышения степени извлечения CO_2 из потока пирогаза необходимо заменить устаревшие кольца Рашига на более эффективные насадочные элементы.

В третьей главе рассматривается конструкция разработанной неупорядоченной насадки, обладающей высокой эффективностью, низким гидравлическим сопротивлением и стойкостью к отложениям механических загрязнений.

Дано описание экспериментальной установки. Приводится методика исследования гидравлических характеристик и структуры потока в слое насадки. Получены обобщающие уравнения для расчета гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки, коэффициента продольного перемешивания, скорости захлебывания.

Опираясь на анализ развития насадочных контактных элементов, разработана новая насадка. Насадка технологична в изготовлении и не имеет склонности к забивке продуктами полимеризации и солями.

Конструкция насадки представлена на рис. 6. Она выполнена в виде тела вращения, поверхность которой образована полосами с выполненными на ней симметричными выступами. Причем высота выступов в каждой полосе уменьшается от центрального выступа к периферийным и в полосах — от центральных полос к крайним.

Насадка работает следующим образом: газ, двигаясь по аппарату снизу вверх, проходит через слой насадки и контактирует с жидкостью, стекающей по насадке вниз. Жидкость, омывающая элементы насадки, сходит с них преимущественно в виде пленки. Это происходит за счет того, что геометрия насадки имеет гладкий гидравлический профиль и не содержит ломаных поверхностей и торчащих деталей, которые могли быть центром образования отдельных капель и струй. Пленочный характер стока жидкости с элементов насадки обеспечивает высокие массообменные характеристики

насадки при минимальном значении уноса и способствует снижению гидравлического сопротивления. Наружная поверхность насадки образована гребнями симметричных выступов полос насадок, имеющих малый по сравнению с диаметром насадки радиус кривизны. Благодаря такой геометрии контакт соседних элементов насадки имеет почти точечный характер, что препятствует блокированию поверхности насадки и образованию застойных зон, которые могут возникнуть при контакте поверхностей с большим радиусом кривизны. Это особенно важно в случае присутствия в газовой и жидкой фазах примесей, склонных к полимеризации и образованию слоя твердых отложений на поверхности насадки.

Немаловажным является и то обстоятельство, что за счет изогнутой формы полос поверхность насадки более равномерно распределена по объему элемента насадки. Это, в свою очередь, благоприятно сказывается на равномерности распределения фаз внутри слоя насадки и способствует улучшению гидродинамических условий работы колонны.

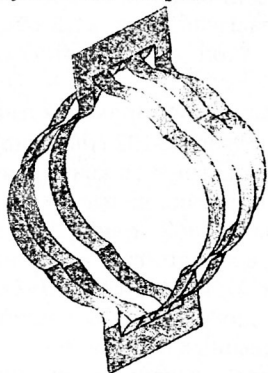


Рис. 6. Общий вид элемента насадки

Характеристики насадочных элементов Инжехим — 2000

Материал насадки	листовая сталь 09Г2С
Размер элемента	70 x 40 x 35 мм
Удельная поверхность	103 м ² /м ³
Удельный свободный объем	0,965 м ³ /м ³
Количество элементов	13900 шт./м ³
Насыпная плотность	278 кг/м ³

При сравнимых с аналогичными насадками размерах, предлагаемая насадка за счет более изогнутого профиля полос имеет большую жесткость от сдвливания весом вышележащего слоя. Достаточно несложная конструкция насадки позволяет изготавливать ее методом листовой штамповки, что снижает ее себестоимость.

Для расчета процесса разделения в промышленных колоннах с новой насадкой необходимо экспериментально определить следующие характеристики: гидравлическое сопротивление, коэффициент продольного перемешивания, удерживающую способность, ВЭТС. С целью исследования новой насадки на кафедре ПАХТ совместно с сотрудниками создана экспериментальная установка. Установка состоит из цилиндрической колонны с внутренним диаметром 600 мм, воздуховода с вентилятором для

подачи потока газа, водопровода, напорной и накопительной емкостей и насоса для подачи орошения в колонну. В аппарате расположены следующие внутренние устройства: опорная решетка, распределитель по газовой фазе, распределитель по жидкой фазе. Для гидравлических испытаний при повышенных нагрузках по обоим фазам предусмотрена возможность установки внутрь колонны дополнительных стаканов с внутренним диаметром 370 и 250 мм.

В колонне организовано противоточное движение фаз. Воздух от вентилятора по воздуховоду подается в нижнюю часть аппарата. Далее он проходит через ситчатый распределитель, в результате чего достигается равномерный профиль скорости газа на входе в слой насадки. Жидкая фаза из напорной емкости подается на орошение слоя насадки. Для равномерного начального распределения жидкой фазы по сечению аппарата выше слоя насадки установлен тарельчатый распределитель с патрубками. Число точек орошения подобрано согласно известным рекомендациям. Далее жидкость поступает в накопительную емкость, а газ выбрасывается в атмосферу. Предусмотрена возможность возврата жидкости из накопительной емкости в напорную.

Установленное оборудование обеспечивает следующие характеристики: по газу $0\div 2060 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0\div 11.6 \text{ м/с}$); по жидкости - $0\div 5 \text{ м}^3/\text{час}$ ($0\div 102 \text{ м}^3/(\text{м}^2\text{час})$).

При проведении экспериментов с целью достижения максимальных нагрузок по жидкой и газовой фазам использована обечайка диаметром 0,25 м, которая вставляется внутрь колонны. Исследовали слой новой насадки высотой 1,0 м на системе воздух - вода. Фиктивная скорость газа в колонне достигала 5,82 м/с, плотность орошения составляла 20, 40, 60 и 80 $\text{м}^3/\text{м}^2\text{час}$. Каждую серию опытов повторяли по 10 раз для снижения ошибки эксперимента. На рис.7 приведены результаты проведенных испытаний.

В результате анализа полученных результатов сделаны следующие выводы:

- ♦ новая насадка имеет широкий интервал рабочих скоростей по газовой и жидкой фазам при пленочном режиме;
- ♦ режим подвисания начинается при скорости газа $1.5\div 2.1 \text{ м/с}$ в зависимости от плотности орошения (система воздух — вода);
- ♦ началу режима захлебывания соответствует перепад давления на 1 метр слоя насадки около 1000 Па.

На рис.8 и рис.9 приводится сравнение гидравлических характеристик исследуемой насадки с близкими по геометрическим размерам существующими насадками. Как видно из рис.8, сопротивление сухого слоя для новой насадки на 10 — 15% ниже, чем у колец Палля размером $50\times 50\text{мм}$ и в 2 и более раза ниже, чем у колец Рашига. Это объясняется более высокой порозностью слоя с новой насадкой, а так же тем, что ее геометрия практически исключает образование застойных зон.

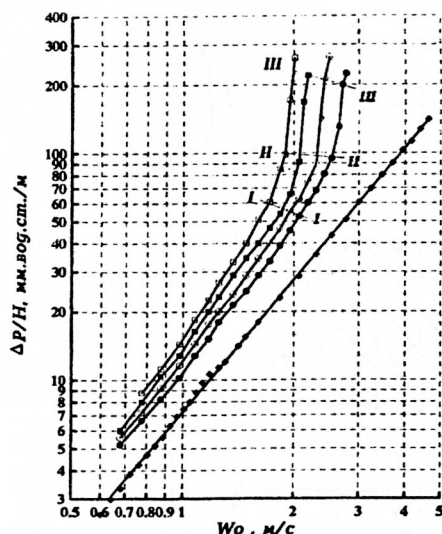


Рис.7. Гидравлическое сопротивление слоя насадки в зависимости от фиктивной скорости газа. Линия I—I — начало режима подвисания, линия II—II — начало режима захлебывания, линия III—III — начало режима уноса.

▲ — сухая насадка, ● — плотность орошения 20 м³/м²ч, ○ — плотность орошения 40 м³/м²ч, ■ — плотность орошения 60 м³/м²ч, □ — плотность орошения 80 м³/м²ч.

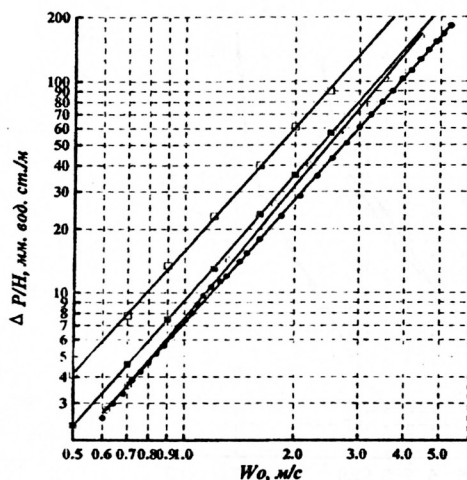


Рис.8 Гидравлическое сопротивление слоя сухой насадки в зависимости от фиктивной скорости газа.

◆ — насадка "Инжехим-2000", ○ — кольца Палля металлические 50x50 мм, ■ — кольца Палля полипропиленовые 50x50 мм, □ — металлические кольца Рашига 50x50 мм.

Для расчета удельного сопротивления сухой насадки различные авторы часто используют уравнение

$$\Delta P/H = \xi_0 w_0^2 \rho_v a_v / 8 \epsilon_a^3, \quad (4)$$

где ΔP - гидравлическое сопротивление, Па; H - высота слоя, м; ξ_0 — коэффициент сопротивления; w_0 - фиктивная скорость газа, м/с; a_v - удельная поверхность насадки, м²/м³.

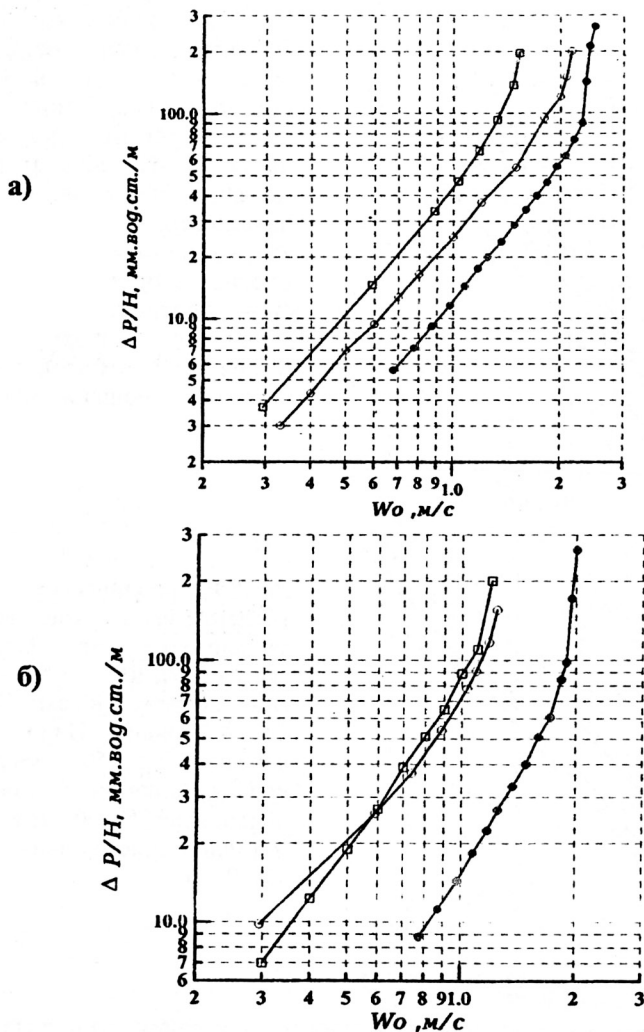


Рис.9 Гидравлическое сопротивление слоя орошаемой насадки в зависимости от фиктивной скорости газа. а) плотность орошения $40 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$; б) плотность орошения $80 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$. ● — насадка “Инжехим—2000”, ○ — кольца Bialecki металлические $50 \times 50 \text{ мм}$, □ — кольца Рашига $50 \times 50 \text{ мм}$.

По данным экспериментов для сухой насадки “Инжехим — 2000” получена зависимость

$$\xi_0 = 4.97 \cdot \text{Re}_r^{-0.04}, \quad (5)$$

где $\text{Re}_r = 4w_0\rho_r/a, \mu_r$, μ_r — коэффициент динамической вязкости газа, Па·с.

Для определения гидравлического сопротивления орошаемой насадки используется уравнение вида $\Delta P_{\text{ор}} / \Delta P_{\text{ср}} = b \cdot q^c \cdot w_0^d$, (6)

где q - плотность орошения, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Для насадки "Инжехим — 2000" $b = 0.708$, $c = 0.247$, $d = 0.198$.

Уравнение Бейна—Хоугена для новой насадки имеет вид:

$$\lg \left(\frac{w_3^2 a_v \rho_r \mu_{\text{ж}}^{0.16}}{g \varepsilon_{\text{ср}}^3 \rho_{\text{ж}}} \right) = -0.471 - 1.104 \left(\frac{L}{G} \right)^{0.25} \left(\frac{\rho_r}{\rho_{\text{ж}}} \right)^{0.125}, \quad (7)$$

где w_3 - скорость газа, соответствующая началу режима захлебывания, м/с ; $\mu_{\text{ж}}$ - коэффициент динамической вязкости жидкости, $\text{мПа} \cdot \text{с}$.

Результаты исследования структуры потока жидкости в слое насадки по методу импульсного ввода трассера обобщены критериальным уравнением:

$$Re_{\text{ж}} = 2.348 Re_{\text{ж}}^{0.428}, \quad (8)$$

где $Re_{\text{ж}} = ql / (D_{\text{нж}} \varepsilon_{\text{ж}})$, $Re_{\text{ж}} = 4qr_{\text{ж}} / (a_{\text{ж}} \varepsilon_{\text{ж}} \mu_{\text{ж}})$.

Установлено, что интервал устойчивой работы для новой насадки шире, чем у известных колец Рашига и Палля. Насадка "Инжехим — 2000" может быть рекомендована для использования в промышленности при проектировании и реконструкции колонного оборудования в химической, нефтеперерабатывающей и других отраслях промышленности.

В четвертой главе рассмотрены два варианта реконструкции узла щелочной очистки пирогаза (колонн К—7 и К—8).

Согласно первого варианта щелочную очистку и водную отмывку пирогаза предполагается проводить в колонне К—7, исключив из технологической схемы колонну К—8. При этом предстоит выполнить значительную реконструкцию колонны К—7: необходимо установить дополнительные глухие тарелки, опорные решетки, оросительные устройства, патрубки и т.д. Этот вариант требует значительных капитальных затрат.

Второй вариант не требует каких-либо конструктивных изменений колонн К—7 и К—8. В этом случае в колонне К—7 проводится замена колец Рашига на новую насадку и она используется для щелочной очистки пирогаза, как это предусмотрено и до реконструкции, а в колонне К—8 (верхний контур) осуществляется только водная отмывка пирогаза, исключая нижнюю секцию щелочной очистки с высотой слоя насадки 7 метров.

Проведено прогнозирование эффективности разделения в колоннах после предложенной модернизации. Выполнены расчеты работы узла щелочной очистки при расходах пирогаза от 18 до 36 т/час с начальным содержанием CO_2 1500 ppm объемных. Результаты расчета процесса очистки пирогаза при различных расходах орошения представлены на рис. 10. Расчеты, подтвержденные результатами промышленной эксплуатации, показывают, что концентрация CO_2 в пирогазе на выходе из установки щелочной очистки (колонны К-7 и К-8) составляет менее 10 ppm об. при

расходе пирогаза до 34 т/ч. В настоящее время нагрузка установки газоразделения 29 - 31 т/ч. В дальнейшем ожидается увеличение нагрузки по пирогазу до 36 т/ч. В этом случае необходимо повышение расхода щелочного раствора с 20 до 25 т/ч. Максимальная производительность насосов составляет 30 т/ч.

Реконструкция проведена по варианту, согласно которого в колонне К—7 выполнена замена насадки, а колонна К—8 эксплуатируется по существующей технологической схеме без внесения изменений. Разработанные насадочные элементы были изготовлены Инженерно-внедренческим центром “Инжехим”, г. Казань, в объеме 22 м³ и во время капитального ремонта загружены в колонну.

С использованием диффузионной модели процесса щелочной очистки пирогаза и данных гидравлических испытаний получены обобщающие уравнения для ВЭТС новой насадки. После уточнения на основе данных промышленной эксплуатации выражения имеют вид:

при концентрации щелочи в 5%
$$\text{ВЭТС} = 0.055 \cdot \text{Re}_r^{0.947} (G/L)^{0.062},$$

при концентрации щелочи в 8%
$$\text{ВЭТС} = 0.798 \cdot \text{Re}_r^{0.269} (G/L)^{0.719},$$

при концентрации щелочи в 10%
$$\text{ВЭТС} = 0.112 \cdot \text{Re}_r^{0.62} (G/L)^{0.341}.$$

Продольное перемешивание по газовой фазе описывается уравнением:

$$\text{Pe}_r = 88.59 \text{Re}_r^{-0.67},$$

где $\text{Pe}_r = w_0 l / D_{\text{пр}}$.

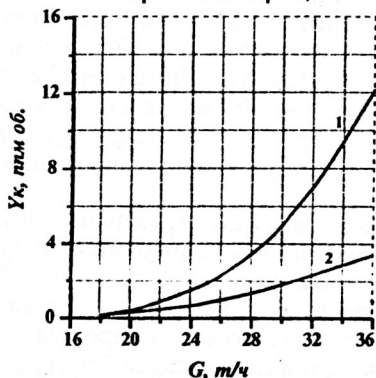


Рис.10 Зависимость конечной концентрации CO₂ от расхода пирогаза. Насадка “Инжехим - 2000”. Реконструкция по варианту II.

1 - расход раствора щелочи 20 т/ч; 2 - расход щелочи 25 т/ч.

Центральной лабораторией ОАО “Казаньоргсинтез” проведено обследование работы колонн в период с 31.05.2000 по 14.06.2000 г. Целью исследования являлось рассмотрение возможности снижения расходного коэффициента щелочи на 1 тонну этилена. Проектная величина этого параметра 10 кг/т этилена. Установлено, что при расходном коэффициенте щелочи от 7.4 до 10.7 кг/т содержание CO₂ ниже 20 ппм уже на выходе из колонны К—7. При снижении расходного коэффициента до 2.8 — 1.9 кг/т концентрация CO₂ возрастает до 97 ппм на выходе из К—7, но на выходе из

колонны К—8 эта величина не превышает 20 ппм, предусмотренных по регламенту. В то же время снижение расходного коэффициента приводит к более полной отработке щелочи (до концентрации NaOH 0.21 — 0.60 %масс).

Эксплуатация колонны К—7 с новой насадкой позволила снизить расходный коэффициент щелочи на тонну этилена с 10.7 до 5 кг. При этом содержание CO₂ в товарном этилене не превышает 10 ппм объемных. Гидравлическое сопротивление слоя насадки в К—7 с новой насадкой снизилось до 0.01 — 0.02 кгс/см², с кольцами Рашига эта величина составляла 0.04—0.05 кгс/см².

В последнем разделе Главы 4 рассматривается тиражирование полученных результатов для реконструкции колонн на аналогичной установке ЭП-60.

Основные результаты и выводы.

- ♦ На основе анализа развития конструкций насадочных элементов разработана неупорядоченная насадка, обладающая высокой эффективностью, низким гидравлическим сопротивлением и стойкостью к отложениям механических загрязнений.
- ♦ Выполнены экспериментальные исследования насадки на лабораторном стенде по перепаду давления и структуре потока жидкой фазы.
- ♦ Для новой насадки получены обобщающие уравнения для расчета гидравлического сопротивления сухой и орошаемой насадки, коэффициента продольного перемешивания и ВЭТС.
- ♦ Выполнена диагностика работы узла щелочной очистки пирогаза при различных конструктивных и режимных параметрах установки Э-100. Предложены технические решения по реконструкции насадочных колонн для повышения степени извлечения при хемосорбции.
- ♦ В мае 2000 г. выполнена реконструкция колонны К-7 на заводе “Этилен” ОАО “Казаньоргсинтез” путем замены колец Рашига на разработанную насадку (4 секции высотой по 3.5 м).
- ♦ Экономический эффект за счет уменьшения расхода щелочи и снижения потерь этилена за 6 месяцев промышленной эксплуатации составляет более 500 тыс. руб.
- ♦ Рассмотрен вариант реконструкции колонн на аналогичной установке ЭП-60 ОАО “Казаньоргсинтез”.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

1. Лаптев А.Г., Ясавеев Х.Н., Фарахов М.И., Шигапов И.М., Данилов В.А. Проектирование контактных элементов для массообменных насадочных колонн. // В межвузовском научно-методическом сборнике “Совершенствование подготовки учащихся и студентов в области графики, конструирования и стандартизации”. - Саратов, СГТУ. - 1999. - С. 115-118.
2. Шигапов И.М., Лаптев А.Г., Данилов В.А., Ясавеев Х.Н. Математическое моделирование и исследование процессов разделения смесей в колоннах с

- новыми насадками. // Тез. докл. "Мат. методы в технике и технологиях - ММТТ-12". - Т.4. - Великий Новгород, НГУ. - 1999. - С. 83 - 85.
3. Лаптев А.Г., Данилов В.А., Шигапов И.М., Фарахов М.И. Исследование новых насадочных элементов на полупромышленной установке. / Тез. докл. "Международная конференция по интенсификации нефтехимических процессов "Нефтехимия-99". - Нижнекамск, 1999. - С.185 - 186
 4. Данилов В.А, Лаптев А.Г., Шигапов И.М. Применение высокоэффективной насадки при реконструкции колонн щелочной очистки пирогаза на заводе "Этилен" / Научная сессия. Аннотация сообщений. - Казань, КГТУ. - 1999. - С.79.
 5. Лаптев А.Г., Данилов В.А., Шигапов И.М., Ясавеев Х.Н. Гидравлические и массообменные характеристики насадочных колонн / Казан. гос. технолог. ун-т. - Казань, 2000. 55с.: 31 ил. - 6 табл. - Библиогр. 33 назв. - Рус.- Деп. в ВИНТИ №537-В00 от 29.02.00 г.
 6. Фарахов М.И., Кудряшов В.Н., Черевин В.Ф., Мухитов И.Х., Лаптев А.Г., Дьяконов Г.С., Еремин А.А., Файзрахманов Н.Н., Минеев Н.Г., Шигапов И.М. Насадка для массообменных колонн. Свидетельство на полезную модель №2000101491/20 (001405) от 22.06.2000 г.
 7. Данилов В.А., Лаптев А.Г., Шигапов И.М., Минеев Н.Г. Моделирование процесса щелочной очистки пирогаза на заводе "Этилен" / Тез. докл. XIII конфер Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-2000 - Т.3. - Санкт - Петербург, СГТИ. - 2000. - С.54 - 56
 8. Данилов В.А., Лаптев А.Г., Шигапов И.М., Кудряшов В.Н., Черевин В.Ф., Мухитов И.Х., Еремин А.А., Файзрахманов Н.Н. Реконструкция колонн щелочной очистки пирогаза на заводе "Этилен" / Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии. Межвузовский тематический сборник научных трудов. - Казань, КГТУ. - 1999 - 2000. - С. 58 - 63.
 9. Ильяшенко Е.Б., Шигапов И.М., Ясавеев М.Х. Структура потока в насадочном слое. / Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии. Межвузовский тематический сборник научных трудов. - Казань, КГТУ. - 1999 - 2000. - С. 171 - 174.
 10. Дьяконов Г.С., Фарахов М.И., Ясавеев М.Х., Маряхин Н.Н., Шигапов И.М., Ильяшенко Е.Б. Экспериментальная установка для исследования насадочных контактных устройств/ Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии. Межвузовский тематический сборник научных трудов. - Казань, КГТУ. - 1999 - 2000. - С. 235 - 239.
 11. Дьяконов Г.С., Лаптев А.Г., Фарахов М.И., Ясавеев М.Х., Шигапов И.М., Маряхин Н.Н. Разработка новой нерегулярной насадки и ее гидродинамические исследования / Тепломассообменные процессы и аппараты химической технологии. Межвузовский тематический сборник научных трудов. - Казань, КГТУ. - 1999 - 2000. - С. 239 - 248.

Соискатель:

 И.М. Шигапов

Заказ 244

тираж 100 экз.